

## **PROCÉDÉ DE FABRICATION PAR MOULAGE D'UNE PIÈCE EN MATRICE A PRISE HYDRAULIQUE, PIÈCE OBTENUE PAR CE PROCÉDÉ**

5           La présente demande de brevet vise un procédé de fabrication par moulage d'une pièce en matrice à prise hydraulique et une pièce obtenue par ce procédé.

          Actuellement, les panneaux de ciment renforcé par des fibres de verre (plus connu par son sigle en anglais, GRC pour glassfibre reinforced cement) sont  
10 largement utilisés pour le recouvrement des façades à la place des panneaux de béton traditionnel, pour tirer parti de leurs hautes performances mécaniques, avec des épaisseurs réduites et donc une plus grande légèreté. En plus de leur utilisation pour le bardage (panneaux de façade et éléments architecturaux), ils se prêtent à d'autres applications, comme les sanitaires (bacs de douche et  
15 éléments connexes) ainsi que les éléments intérieurs. De même, en raison de leur haute résistance au feu, ils sont aussi mis en œuvre dans d'autres types de constructions nécessitant cette caractéristique, comme par exemple les fours utilisés pour cuire des aliments comme le pain, les pizzas, etc. On peut aussi les employer pour la fabrication de palettes de transport à la place du bois, qui est le  
20 matériau généralement utilisé à cette fin.

          Toutefois, le procédé actuel de fabrication de ces pièces est long et coûteux, car le moulage et le démoulage sont effectués entièrement à la main, et en particulier car la durée du séchage avant le démoulage n'est pas inférieure à 24 heures.

25           L'invention a pour premier objet de palier ces inconvénients en proposant un procédé de fabrication par moulage d'une pièce en matrice à prise hydraulique qui soit performant.

          A cet effet, l'invention propose un procédé de fabrication d'une pièce en une matrice à prise hydraulique par moulage comprenant les étapes suivantes :

- 30           a) injection d'une pâte contenant un liant hydraulique et de l'eau dite de malaxage dans un moule,  
          b) extraction de l'eau de malaxage par mise sous vide,  
          c) démoulage de la pièce fraîche.

## 2

Le procédé selon l'invention est davantage compatible avec les exigences industrielles que les procédés de l'art antérieur dans lesquels le démoulage a lieu à sec. En effet, l'extraction sous vide réduit considérablement la durée d'occupation du moule. Ce procédé permet donc de réduire la quantité de  
5 matériau utilisé ainsi que le temps consacré à la fabrication des pièces.

En outre, le procédé selon l'invention est simple à mettre en oeuvre et peut être aisément automatisé.

Une première étape du procédé selon la présente invention peut consister à mélanger la pâte. Pour cela, on introduit les composants de celle-ci par exemple  
10 dans une mélangeuse équipée d'un système d'agitation, et l'agitation est continuée jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène. L'air occlus produit lors du malaxage peut être éliminé à l'intérieur du réservoir de pression.

Ensuite, on peut transférer la pâte à un réservoir équipé par exemple de systèmes de verrouillage adaptés qui permettent de mettre l'intérieur sous  
15 pression. Le réservoir peut intégrer un système intérieur d'élimination des bulles, basé sur un processus de vide, avec éventuellement la production de vibrations à partir de l'extérieur, si nécessaire, de façon que l'air occlus ne soit pas introduit dans le moule avec la pâte injectée.

Ensuite, on injecte la pâte dans le moule, préférablement par mise sous  
20 pression du réservoir susmentionné.

De préférence, l'injection peut avoir lieu à basse pression ou à haute pression. La pression de fonctionnement, pour l'injection basse pression, est préférablement entre 1,5 et 4 bars, tandis que la haute pression est préférablement entre 4 et 30 bars, suivant le cas et en tenant compte de cette  
25 pression dans la conception du moule.

Cette injection peut aussi avoir lieu par tout autre moyen conventionnel, comme une pompe péristaltique ou l'air comprimé (en cas d'injection basse pression).

Le vide est préférablement produit par une pompe à vide.

30 On extrait l'excès d'eau pour que la pièce présente les niveaux d'humidité désirés. Avantageusement, le pourcentage d'eau final représente un compromis qui permet une manutention sans problèmes de la pièce tout en évitant la

3

fissuration par manque d'eau. Aussi, le rapport eau / ciment après l'étape d'extraction par le vide peut être préférablement entre 0,25 et 0,5.

Avantageusement, la durée de l'étape d'extraction par le vide du procédé selon la présente invention est inférieure à 1 heure, ce qui permet notamment d'augmenter significativement le rendement par rapport aux procédés existants.

De même, le procédé permet d'obtenir des pièces - par exemple pour sol - ayant une épaisseur par exemple entre 0,2 cm et 5 cm sans nuire à leurs propriétés physiques ni mécaniques, ce qui contribue à réduire la quantité de matériau utilisé, en permettant de réduire les coûts et d'obtenir des pièces plus légères, ce qui facilite leur manutention et leur pose.

Pour l'obtention de la pièce finale, le procédé de fabrication selon l'invention peut comprendre le durcissement de la pièce obtenue. Pour réduire significativement les risques de microfissures et de déformations susceptibles d'entraîner la mise au rebut de la pièce obtenue, le durcissement a lieu de préférence dans des conditions d'humidité et de température qui permettent à la pièce de retrouver les niveaux d'hydratation nécessaires après la perte d'eau subie durant l'étape d'extraction par le vide. Aussi avantageusement, l'humidité relative pendant le durcissement peut être entre 90 % et 100 %, et le temps total de durcissement peut être entre 1 et 7 jours.

On peut éventuellement sélectionner d'autres systèmes de durcissement comme la vapeur d'eau, l'autoclave, etc.

Dans un mode de réalisation préféré, on mélange des fibres de renforcement coupées dans la pâte avant l'injection et/ou on place des fibres de renforcement dans le moule avant l'injection.

Dans un mode de réalisation avantageux, on place un élément support dans le moule avant l'injection et on retire la pièce fraîche posée sur ledit support à l'aide dudit support.

Par ailleurs ce support peut être une pièce métallique, de rigidité adaptée à la taille de la pièce et en outre à la forme souhaitée pour la pièce, par exemple pour fabriquer un panneau avec des zones arrondies en forme de tuiles.

Selon une caractéristique, l'extraction sous vide peut débuter pendant l'injection de pâte.

En outre, l'injection et/ou l'extraction peut être réalisée par une face et/ou les deux faces d'un système de moulage fermé comprenant un moule et un contre moule. On peut par exemple réaliser l'extraction de l'eau par la face supérieure (du contre-moule) et retourner le moule pour l'extraction par la face inférieure (du moule).

L'injection et/ou l'extraction peut être réalisée par un ou plusieurs orifices distincts ou non prévus dans le moule et/ou le contre-moule.

Par ailleurs l'injection et/ou l'extraction peut être répartie sur une partie ou sur toute la surface inférieure et/ou supérieure du système de moulage.

En outre, on peut fabriquer une pièce comportant un ou des inserts métalliques pour la fixation finale de la pièce (panneaux de façade etc), par exemple sur un édifice, en disposant ces inserts dans le moule avant injection de la pâte.

En outre, on peut éventuellement chauffer le moule pour accélérer la prise.

Un moule pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention peut consister en un système de moule fermé (moule-contremoule) et comporter au moins un orifice d'entrée, par lequel la pâte de préférence homogénéisée au préalable est injectée et au moins un deuxième orifice, distinct ou non du premier orifice pour ladite extraction.

Afin d'éviter une défaillance du système, on peut prévoir l'inclusion dans le moule d'un ou plusieurs orifices de sortie de pâte ou de trop-pleins, eux-mêmes équipés de verrouillages qui permettent de les fermer pour éviter une chute de pression pendant l'extraction d'eau par le vide.

Pour permettre l'extraction d'eau par le vide, le moule est aussi équipé de préférence d'une pluralité d'orifices de diamètre inférieur ou égal à 1 cm, qui sont raccordés, directement ou indirectement, au système d'extraction par le vide. De même, pour éviter la perte de matériau pendant cette étape de mise sous vide, on peut interposer du papier filtre ou tout autre système conventionnel de filtration entre lesdits orifices et la pâte. Pendant cette étape, on peut éventuellement chauffer le moule pour accélérer la prise.

Si l'on place un élément support dans le moule, ce dernier peut comprendre de préférence un ou des orifices en regard du moule ou du contre moule.

## 5

Si l'extraction et l'injection sont réalisés via le contre-moule, on peut prévoir alors un élément en contact par exemple magnétique avec le contre-moule et dotés d'orifices en regard avec ceux du contre-moule.

La présente invention a aussi pour objet une pièce en matrice à prise hydraulique obtenue par le procédé décrit auparavant. Sa composition comprend un pourcentage pondéral de liant hydraulique entre 2 % et 98 % de la masse totale, un pourcentage pondéral de sable entre 0,1 % et 95 % de la masse totale, un pourcentage pondéral d'eau entre 5 % et 75 % de la masse totale, un pourcentage pondéral de fibres de renforcement entre 0 % et 50 % de la masse totale (de préférence en verre et entre 2,5% et 7%), un pourcentage pondéral d'autres fibres entre 0 % et 50 % de la masse totale, un pourcentage pondéral de polymères entre 0 % et 75 % de la masse totale, un pourcentage pondéral de superplastifiant entre 0 % et 20 % de la masse totale, un pourcentage pondéral de métakaolin entre 0 % et 50 % de la masse totale, et éventuellement d'autres additifs sélectionnés de façon à donner à la pièce les caractéristiques requises.

En raison de sa composition, cette pièce présente une haute résistance à la température. La composition permet aussi d'améliorer ses propriétés mécaniques et d'alléger les pièces de béton conventionnel.

Lesdites pièces peuvent être utilisées pour le recouvrement de façades et de constructions nécessitant un haut niveau de résistance au feu.

Le procédé selon la présente invention ne porte pas seulement sur l'injection et la fabrication d'éléments à base de ciment (ciment utilisé comme liant hydraulique), et n'envisage pas seulement ceux-ci ; il envisage aussi la possibilité d'emploi d'autres liants hydrauliques comme le gypse, le plâtre, la chaux, le silicate de calcium.

On peut mélanger aussi plusieurs liants. La matrice peut être en outre constituée de ciment mélangé avec d'autres agglomérats, gypses, plâtres, chaux, résines synthétiques, polymères, plastiques de diverses typologies, thermoplastiques, etc.

Lorsque le liant comprend un ciment, Le ciment utilisé peut être de préférence à prise rapide, à haute résistance initiale, un ciment Portland traditionnel de n'importe quelle résistance, alumineux, à faible teneur en alcalis, et en général n'importe quel type de ciment, dont le choix doit être pris en compte



lors de la conception de la pièce, pour toujours conserver sa caractéristique de liant hydraulique.

Les polymères peuvent être par exemple de type acrylique ou synthétique, des résines de diverses typologies, ou tout autre polymère utilisable pour modifier la matrice et donner à la pièce fabriquée une plus grande capacité en fonction de divers aspects de la conception et des performances que l'on attend de la pièce. On peut éventuellement n'ajouter les polymères que lorsque la pièce finale de GRC n'est pas destinée à des applications à haute température et sera utilisée uniquement dans des panneaux de façade et des bardages, ou dans d'autres applications ne nécessitant pas de résistance particulière au feu ou à des températures élevées.

Par ailleurs, les autres additifs peuvent être, entre autres, des accélérateurs, des retardateurs, des émulsifiants, des aérateurs, des introducteurs d'air occlus, des stabilisateurs, des antioxydants, des agents fluidifiants ou épaississants, comme la cellulose, les fibres de cellulose, des hydroxydes cellulosiques de n'importe quel type et d'autres épaississants chimiques, en plus d'amidons ou de produits naturels utilisables pour améliorer la cohésion et la stabilité de la pâte injectée, et en général tout additif visant à modifier la matrice en fonction des exigences de conception et des performances que l'on attend de la pièce, ainsi que d'éventuelles exigences de production.

Les fibres de renforcement peuvent être des fibres coupées, entières, un mat de n'importe quelle classe de fibres de renforcement coupées, un mat de fibres continues, comme le Cem-FIL ® vendu par la société SAINT GOBAIN, des grilles tissées.

De même, les fibres de renforcement peuvent être des fibres synthétiques, comme le polyamide, la rayonne, le nylon, le PVA, le polypropylène et, en général, toute fibre organique, naturelle (comme les fibres de coco, les fibres à base de plante traitée, les fibres de cellulose, les fibres de sysal) ou synthétique de n'importe quelle classe ; des fibres minérales, comme la fibre de carbone, les fibres de basalte et, en général, toute fibre minérale de n'importe quelle classe ; des fibres de verre de type E, Z, C, ou résistantes aux alcalis ou AR et, en général, toute fibre de verre de n'importe quelle composition; des fibres métalliques, comme les fibres de cuivre, d'acier, d'acier inoxydable, de fer, de

7

fonte, de fonte ductile et, en général, toute fibre de type métallique. On peut également citer les fibres de graphite, de bore, en céramique, de basalte.

Les autres fibres peuvent être des fibres d'isolation par exemple en laine de roche ou fibres de verre.

5 Le Tableau 1 ci-dessous présente quelques exemples de compositions pour les pièces par exemple en GRC selon la présente invention, par comparaison avec les pièces en GRC conventionnel.

	Ciment (kg)	Sable (kg)	Eau (kg)	Polymère	Super- plastifiant	Métakaolin
GRC conventionnel	50	33	16	3-7 % du ciment (en poids) de solides de polymère	0 – 1 % du ciment (en poids)	0-50 % du ciment (en poids)
GRC conventionnel	50	33	16,5			
GRC conventionnel	50	50	17,5			
GRC conventionnel	50	33	16			
GRC conventionnel	50	50	13			
GRC conventionnel	50	50	14,5			
GRC conventionnel	50	33	17,5			
GRC Injection selon l'invention	50	40	22,5			
GRC Injection selon l'invention	50	40	40			
GRC Injection selon l'invention	50	40	30			
GRC Injection selon l'invention	50	40	21			

10 Tableau 1.

Dans la combinaison, les proportions des différents types de fibres sont ajustées de façon à permettre de bonnes performances de l'application et l'obtention de différents niveaux de résistance mécanique. La combinaison des

8

différents types de fibres est étudiée pour un ajustement compatible avec les autres composants de la matrice, afin de permettre une injection du mélange sans problèmes majeurs. Les matériaux constituant le renforcement (fibres) peuvent être utilisés dans n'importe quelle proportion en fonction des avantages ou des performances que l'on désire obtenir avec la pièce injectée.

On utilise de préférence des fibres de verre AR longues de 12 mm, entre 2 et 3% de la masse totale.

Une réalisation préférée est décrite ci-dessous; on notera cependant qu'elle ne limite pas l'invention.

Après avoir pesé les matériaux, on passe au mélange, selon la procédure suivante : on ajoute progressivement à la quantité d'eau requise le ciment et le sable, en obtenant un rapport sable / ciment de 0,8 et un rapport eau / ciment de 0,45. On malaxe jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène. On ajoute les fibres de renforcement coupées (par exemple de verre) et les additifs, puis on mélange jusqu'à l'obtention d'une pâte homogène.

Pour cela, on introduit les composants de la pâte dans une mélangeuse équipée d'un système d'agitation, et l'agitation est continuée jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène. L'air occlus produit lors du malaxage est éliminé à l'intérieur d'un réservoir de pression.

Ensuite, on transfère la pâte à un réservoir équipé par exemple de systèmes de verrouillage adaptés qui permettent de mettre l'intérieur sous pression. Le réservoir intègre un système intérieur d'élimination des bulles, basé sur un processus de vide, avec éventuellement la production de vibrations à partir de l'extérieur, si nécessaire, de façon que l'air occlus ne soit pas introduit dans le moule avec la pâte injectée.

Ensuite, on prépare le moule en vue de l'injection. Pour éviter la perte de matériau pendant l'étape de mise sous vide, on peut interposer du papier filtre ou tout autre système conventionnel de filtration entre lesdits orifices et la pâte. On place par exemple un papier filtre ou les films spéciaux par-dessus un support ou chemise inférieure disposée sur le moule et prévu pour retirer aisément la pièce fraîche. On place en outre de préférence une grille tissée de renforcement par exemple en fibre de verre de forme adéquate dans le moule.



## 9

Le moule consiste par exemple en un système de moule fermé (moule-contremoule) et comporte par exemple neuf orifices sur le moule et le contre moule de préférence uniformément distribués et en regard, par lesquels la pâte homogénéisée est injectée et/ ou l'extraction est réalisée.

- 5        Afin d'éviter une défaillance du système, on peut prévoir l'inclusion dans le moule d'un ou plusieurs orifices de sortie de pâte ou de trop-pleins, eux-mêmes équipés de verrouillages qui permettent de les fermer pour éviter une chute de pression pendant l'extraction d'eau par le vide.

- 10       On remplit le réservoir via les orifices avec la pâte obtenue auparavant, on ferme et on met sous pression. Après avoir obtenu une pression de 2,5-3 bars, on ouvre les vannes de sortie du coulis du réservoir, pour que le matériau s'écoule vers le moule.

- 15       Quand les trop-pleins indiquent que le moule est plein, on branche la source de vide et on stoppe l'injection. Pour permettre l'extraction d'eau par le vide, un ou des orifices ont un diamètre inférieur ou égal à 1 cm et sont raccordés, directement ou indirectement, au système d'extraction par le vide.

Le temps total de mise sous vide est de 15 minutes, lequel produit un rapport eau / ciment final qui varie entre 0,35 et 0,40. Pendant cette étape, on peut éventuellement chauffer le moule pour accélérer la prise.

- 20       Ensuite, on ouvre le moule, on démoule la pièce et on introduit cette pièce dans la chambre de durcissement pour obtenir le niveau requis d'hydratation et de durcissement de la pièce. Le durcissement a lieu à température ambiante et à une humidité relative supérieure à 95 % pendant 7 jours.

## REVENDICATIONS

1.- Procédé de fabrication par moulage d'une pièce en une matrice à prise  
5 hydraulique, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes

- a) injection d'une pâte contenant un liant hydraulique et de l'eau dite de malaxage dans un moule,
- b) extraction de l'eau de malaxage par mise sous vide
- c) démoulage de la pièce fraîche.

10 2.- Procédé de fabrication par moulage d'une pièce selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'injection de la pâte dans le moule a lieu par mise sous pression d'un réservoir d'injection.

3.- Procédé de fabrication par moulage d'une pièce selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'injection de la pâte dans le moule a  
15 lieu au moyen d'une pompe péristaltique.

4.- Procédé de fabrication par moulage d'une pièce selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'injection de la pâte dans le moule a lieu au moyen d'air comprimé.

5.- Procédé de fabrication par moulage d'une pièce selon l'une des  
20 revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'injection a lieu à basse pression à une pression entre 1,5 et 4 bars.

6.- Procédé de fabrication par moulage d'une pièce selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'injection a lieu à haute pression à une pression entre 4 et 30 bars.

25 7.- Procédé de fabrication par moulage d'une pièce selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que le rapport eau / ciment après l'étape d'extraction par le vide est entre 0,25 et 0,5.

8.- Procédé de fabrication par moulage d'une pièce selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il permet d'obtenir des pièces ayant des  
30 épaisseurs entre 0,2 et 5 cm.

9.- Procédé de fabrication par moulage d'une pièce selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que la durée de l'étape d'extraction par le vide est inférieure à 1 heure.

10.- Procédé de fabrication par moulage d'une pièce selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend une étape de durcissement de la pièce qui a lieu dans des conditions d'humidité relative entre 90 % et 100 %.

5 11.- Procédé de fabrication par moulage d'une pièce selon la revendication 10, caractérisé en ce que la durée totale de l'étape de durcissement est entre 1 et 7 jours.

12.- Procédé de fabrication par moulage d'une pièce selon l'une des revendications 10 ou 11, caractérisé en ce que l'étape de durcissement a lieu en présence de vapeur d'eau.

10 13.- Procédé de fabrication par moulage d'une pièce selon l'une des revendications 10 ou 11, caractérisé en ce que l'étape de durcissement a lieu dans un autoclave.

15 14.- Pièce en matrice à prise hydraulique obtenue selon le procédé de l'une des revendications 1 à 13, caractérisée en ce que la composition de ladite pièce comprend un pourcentage pondéral de liant hydraulique entre 2 % et 98 % de la masse totale, un pourcentage pondéral de sable entre 0,1 % et 95 % de la masse totale, un pourcentage pondéral d'eau entre 5 % et 75 % de la masse totale, un pourcentage pondéral de fibres de renforcement entre 0 % et 50 % de la masse totale, un pourcentage pondéral d'autres fibres entre 0 % et 50 % de la  
20 masse totale un pourcentage pondéral de polymères entre 0 % et 75 % de la masse totale, un pourcentage pondéral de superplastifiant entre 0 % et 20 % de la masse totale, un pourcentage pondéral de métakaolin entre 0 % et 50 % de la masse totale.

25 15.- Pièce en matrice à prise hydraulique selon la revendication 14, caractérisée en ce que le liant hydraulique comprend un ciment, le ciment peut être à prise rapide, à haute résistance initiale, un ciment Portland traditionnel de n'importe quelle résistance, alumineux, à faible teneur en alcalis, et en général n'importe quel type de ciment, dont le choix doit être pris en compte lors de la conception de la pièce, pour toujours conserver sa caractéristique de liant  
30 hydraulique.

16.- Pièce en matrice à prise hydraulique selon la revendication 14 ou 15, caractérisée en ce que les polymères peuvent être de type acrylique ou synthétique, des résines de diverses typologies, ou tout autre polymère utilisable

pour modifier la matrice et donner à la pièce fabriquée une plus grande capacité en fonction de divers aspects de la conception et des performances que l'on attend de la pièce.

17.- Pièce en matrice à prise hydraulique selon les revendications 14 à 16, caractérisée en ce qu'elle comprend des autres additifs qui peuvent être des accélérateurs, des retardateurs, des émulsifiants, des aérateurs, des introducteurs d'air occlus, des stabilisateurs, des antioxydants, des agents fluidifiants ou épaississants, comme la cellulose, les fibres de cellulose, des hydroxydes cellulosiques de n'importe quel type et d'autres épaississants chimiques, en plus d'amidons ou de produits naturels utilisables pour améliorer la cohésion et la stabilité de la pâte injectée, et en général tout additif visant à modifier la matrice en fonction des exigences de conception et des performances que l'on attend de la pièce, ainsi que d'éventuelles exigences de production.

18.- Pièce en matrice à prise hydraulique selon les revendications 14 à 17, caractérisée en ce que les fibres de renforcement peuvent être des fibres coupées, entières, un mat de n'importe quelle classe de fibres de renforcement coupées, un mat de fibres continues, comme le Cem-FIL ®, des grilles tissées.

19.- Pièce en matrice à prise hydraulique selon les revendications 14 à 18, caractérisée en ce que les fibres de renforcement peuvent être des fibres synthétiques, comme le polyamide, la rayonne, le nylon, le PVA, le polypropylène et, en général, toute fibre organique ou synthétique de n'importe quelle classe; des fibres minérales, comme la fibre de carbone, les fibres de basalte et, en général, toute fibre minérale de n'importe quelle classe; des fibres de verre, comme E, Z, C, AR et, en général, toute fibre de verre de n'importe quelle composition ; des fibres métalliques, comme les fibres de cuivre, d'acier, d'acier inoxydable, de fer, de fonte, de fonte ductile et, en général, toute fibre de type métallique.